УДК 622.013:658.27

Канд. техн. наук С.В.Дзюба
(ІГТМ НАН України)

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОЇ ГАЛУЗІ

Разработаны экономико-математические модели процессов развития предприятий горной отрасли, а также рассмотрена математическая постановка задачи оптимизации процессов добычи минерального сырья.

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF THE MINING INDUSTRY ENTERPRISES DEVELOPMENT PROCESSES

The ekonomiks mathematical models of processes of development of enterprises of mountain are, and also the mathematical raising of task of optimization of processes of booty of mineralnogo raw material is considered.

На сьогоднішній день шахтний фонд може функціонувати тривалий час з необхідним ступенем ефективності лише в тому випадку, якщо він буде забезпечений інвестиційними ресурсами. Значна частина коштів державної підтримки направляється, як правило, фінансово й економічно слабким підприємствам, що не дає можливості вирішувати стратегічно важливі завдання галузі. Відсутність інвестиційних ресурсів призводить до того, що знижують потенціал і відносно благополучні підприємства, і ті шахти, що забезпечені запасами на 10-15 років [1-3].

Підтримка потужності діючих шахт – центральна проблема ефективного природокористування. Особливо гостро ця проблема стосується вуглепромислових регіонів з тієї причини, що в багатьох цих регіонах як альтернативу реконструкції або модернізації розглядається закриття шахт, що мають низькі техніко-економічні показники.

Тривалі строки роботи шахти призводять до того, що вона поступово переходить до інших умов функціонування. Необхідність вживання заходів для забезпечення розвитку шахти викликана або вичерпанням запасів, що перебувають у відносно більш сприятливих умовах, і необхідністю удосконалення шахтного господарства із зростанням деконцентрації робіт у просторі. Остання випливає із властивості невідтворюваності мінеральної сировини і полягає в зростанні капіталоємності простого відтворення, причому цей процес носить об'єктивний і необоротний характер.

Відповідно до викладених передумов розглянемо нижче математичну постановку економіко-математичні моделі вибору доцільного варіанта розвитку вугільної шахти.

Задача – мінімізація середньої собівартості готової вугільної продукції за весь розрахунковий період *T*. Знайти вектор u^* такий, що

$$\overline{C}\left(u^*\right)=\overline{C}(u)\to\min_u \tag{1}$$

за умов

$$g_1(u) - A \le 0 \tag{2}$$

$$g_2(u) - B \le 0 \tag{3}$$

$$g_3(u) - S \le 0 \tag{4}$$

$$D - g_4(u) \le 0 \tag{5}$$

$$U = \{u : u_{1t} \ge 0, \quad u_{2t} \ge 0, \quad t = 1, 2, \dots, T\} \tag{6}$$

де $u = \{u_{11}, u_{12}, \dots, u_{1T}, u_{21}, u_{22}, \dots, u_{2T}\}$ - вектор, перші компоненти якого відповідають вартостям заміни устаткування очисних забоїв, наступні компоненти - вартості проведення додаткових гірничих вироблень в 1, 2, . . ., T – ом роках експлуатації відповідно; функція $g_1(u) = \sum_{t=1}^{T} u_{1t}$ - визначає вартість заміни устаткування очисних забоїв за весь розрахунковий період; константа A задає граничнодопустиме значення вартості заміни устаткування очисних забоїв за весь розрахунковий період; функція $g_2(u) = \sum_{t=1}^{T} u_{2t}$ визначає вартість проведення додаткових гірничих вироблень за весь розрахунковий період; константа B задає граничнодопустиме значення вартості проведення додаткових гірничих вироблень; функція $g_3(u) = \sum_{t=1}^{T} S_t(u)$ визначає вартість капітальних вкладень за весь розрахунковий період; константа S задає граничнодопустиме значення вартості капітальних вкладень; функція $g_4(u) = \sum_{t=1}^{T} D_t(u)$ визначає обсяг готової вугільної продукції за весь розрахунковий період; константа D задає мінімально-допустимий обсяг готової вугільної продукції.

Розглянемо наступні апроксимації функцій

$$S_t(u) = \alpha_1 u_{1t} + \alpha_2 u_{2t}^2, \qquad t = 1, 2, \dots, T, \tag{7}$$

які визначають величину капітальних вкладень у відповідному *t-ом* році, α_1, α_2 – задані константи;

функції

$$M_t(u) = m_0 + m_1 u_{1t} + m_2 u_{1t}^2 + m_3 u_{2t}, \quad t = 1, 2, \dots, T \tag{8}$$

що визначають видобуток рядового вугілля в t-ом році, m_0, m_1, m_2, m_3 – задані константи, причому $m_0 \ne 0$;

функції

$$D_t(u) = d \cdot M_t(u), \qquad t = 1, 2, \ldots, T \tag{9}$$

визначають видобуток готової вугільної продукції в *t-ом* році, $d \neq 0$ – задана константа;

функції

$$C_t(u) = c_0 + c_1 S_t(u) + c_2 D_t(u), \qquad t = 1, 2, \ldots, T \tag{10}$$

визначають собівартість готової вугільної продукції в *t*-ом році, c_0, c_1, c_2 – задані константи, причому $c_1<0$.

Середня собівартість готової продукції визначається функцією

$$\overline{C}(u) = \frac{\sum_{t=1}^{T} D_t(u) \cdot C_t(u)}{\sum_{t=1}^{T} D_t(u)} \quad . \tag{11}$$

Оскільки задача (1) - (11) є задачею нелінійного програмування з нелінійними обмеженнями, то для їх вирішення можна рекомендувати метод, заснований на використовуванні функції Лагранжа [4-6]. Розглянемо його застосування на прикладі рішення задачі (1) - (11).

Для цього введемо функцію Лагранжа на множині $U \times \Lambda$ в наступному вигляді:

$$L(u,\lambda) = \overline{C}(u) + \lambda_1(g_1(u) - A) + \lambda_2(g_2(u) - B) + \lambda_3(g_3(u) - S) + \lambda_4(D - g_4(u)),$$
$$(u,\lambda) \in U \times \Lambda$$

де

$$\Lambda = (\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4) \quad \lambda_1 \geq 0, \quad i = 1, 2, 3, 4).$$

Далі від рішення початкової задачі (1) - (11) переходимо до рішення максимінної задачі наступного вигляду:

$$L(u,\lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda} \min_{u \in U}. \tag{12}$$

Такий перехід допустимий з урахуванням вигляду цільової функції і функцій, що входять в обмеження задачі (1)-(11).

Для чисельного вирішення задачі (12) можна застосувати, наприклад, метод проекцій градієнту [4-6], ітераційна формула якого має вигляд:

$$\begin{cases} u^{k+1} = \max(0, u^k - \nu^k \cdot p_u^k) \\ \lambda^{k+1} = \max(0, \lambda^k + \nu^k \cdot p_\lambda^k) \end{cases}, \ k=0, 1, 2. \tag{13}$$

де $\mathrm{p}_\lambda^\mathrm{k} = \dfrac{\partial \mathrm{L}(\mathrm{u}^\mathrm{k}, \lambda^\mathrm{k})}{\partial \lambda}$ – компоненти вектору $p^k = \left(p_u^k, p_\lambda^k\right)$, v^k – кроковий множник, вибір якого визначається методом, що використовується.

Для чисельної реалізації ітераційної формули користувач повинен задати початкові наближення $u^0 = \left(u_{11}^0, u_{12}^0, ..., u_{1T}^0, u_{21}^0, u_{22}^0, ..., u_{2T}^0\right)$ і точність $\delta > 0$, з якою необхідно отримати рішення задачі (1) - (11), явний вигляд цільової функції $\left\{\dfrac{\partial \mathrm{L}(\mathrm{u}^\mathrm{k}, \lambda^\mathrm{k})}{\partial \mathrm{u}}, \dfrac{\partial \mathrm{L}(\mathrm{u}^\mathrm{k}, \lambda^\mathrm{k})}{\partial \lambda}\right\}$ і вирази для градієнтів приведені нижче.

Для вирішення задачі (12) можна також застосувати один з методів умовної оптимізації, використовуючи пакети MathLab (функція MINIMAX) або MathCad (функції MAXIMIZE, MINIMAZE).

Явний вигляд цільової функції, який отримано при підстановці у вираз (11) функцій, заданих залежністю (7) - (10):

$$\overline{C}(u) = \frac{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} \mathrm{d} \cdot M_t(u) \cdot [c_0 + c_1(\alpha_1 u_{1t} + \alpha_2 u_{2t}^2) + c_2 \cdot d \cdot M_t(u)]}{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} d \cdot M_t(u)} =$$

$$= \frac{\mathrm{d} \cdot \sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} [c_0 + c_1(\alpha_1 u_{1t} + \alpha_2 u_{2t}^2)] \cdot M_t(u) + d \cdot \sum\limits_{t=1}^{T} c_2 \cdot d \cdot M_t^2(u)}{d \cdot \sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} M_t(u)} =$$

$$= \frac{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} [c_0 + c_1(\alpha_1 u_{1t} + \alpha_2 u_{2t}^2)] \cdot [m_0 + m_1 u_{1t} + m_2 u_{1t}^2 + m_3 u_{2t}]}{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} [m_0 + m_1 u_{1t} + m_2 u_{1t}^2 + m_3 u_{2t}]} +$$

$$+ \frac{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} c_2 d \cdot [m_0 + m_1 u_{1t} + m_2 u_{1t}^2 + m_3 u_{2t}]^2}{\sum\limits_{t=1}^{\mathrm{T}} [m_0 + m_1 u_{1t} + m_2 u_{1t}^2 + m_3 u_{2t}]}.$$

Залежність для обчислення приватних похідних функцій Лагранжа для задачі (1)-(11):

$$\frac{\partial L(u, \lambda)}{\partial \lambda_1} = \sum_{t=1}^{T} u_{1t} - A$$

$$\frac{\partial L(u, \lambda)}{\partial \lambda_2} = \sum_{t=1}^{T} u_{2t} - B$$

$$\frac{\partial L(u,\lambda)}{\partial \lambda_3} = \sum_{t=1}^{T} S_t(u) - S$$

$$\frac{\partial L(u,\lambda)}{\partial \lambda_4} = D - \sum_{t=1}^{T} D_t(u)$$

$$\frac{\partial L(u,\lambda)}{\partial u_{1t}} = \frac{\partial \overline{C}(u)}{\partial u_{1t}} + \lambda_1 + \lambda_3 \frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{1t}} - \lambda_4 \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{1t}}, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial L(u,\lambda)}{\partial u_{2t}} = \frac{\partial \overline{C}(u)}{\partial u_{2t}} + \lambda_2 + \lambda_3 \frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{2t}} - \lambda_4 \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{2t}}, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

Тут

$$\frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{1t}} = \alpha_1, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial \mathrm{D_t(u)}}{\partial \mathrm{u_{1t}}} = \mathrm{d} \cdot \frac{\partial \mathrm{M_t(u)}}{\partial \mathrm{u_{1t}}} = \mathrm{d} \cdot \left[\mathrm{m_1} + 2\mathrm{m_2 u_{1t}}\right], \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial \overline{C}(u)}{\partial u_{1t}} = \left[\frac{\partial \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u)}{\partial u_{1t}} \sum_{t=1}^{T} D_t(u) - \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{1t}} \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u) \right] \Bigg/ \left[\sum_{t=1}^{T} D_t(u) \right]^2 ,$$

$$t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u)}{\partial u_{1t}} = \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{1t}} C_t(u) + D_t(u) \frac{\partial C_t(u)}{\partial u_{1t}}, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial C_t(u)}{\partial u_{1t}} = c_1 \frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{1t}} + c_2 \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{1t}}, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{2t}} = 2\alpha_2 u_{2t}, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{2t}} = d \cdot \frac{\partial M_t(u)}{\partial u_{2t}} = d \cdot m_3, \quad t = 1, 2, ..., T .$$

$$\frac{\partial \overline{C}(u)}{\partial u_{2t}} = \left[\frac{\partial \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u)}{\partial u_{2t}} \sum_{t=1}^{3} D_t(u) - \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{2t}} \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u) \right] \Bigg/ \left[\sum_{t=1}^{T} D_t(u) \right]^2,$$

$$t = 1, 2, ..., T.$$

$$\frac{\partial \sum_{t=1}^{T} D_t(u) C_t(u)}{\partial u_{2t}} = \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{2t}} C_t(u) + D_t(u) \frac{\partial C_t(u)}{\partial u_{2t}}, \quad t = 1, 2, ..., T.$$

$$\frac{\partial C_t(u)}{\partial u_{2t}} = c_1 \frac{\partial S_t(u)}{\partial u_{2t}} + c_2 \frac{\partial D_t(u)}{\partial u_{2t}} = 2c_1 \alpha_2 u_{2t} + c_2 d \cdot m_3, \ t = 1, 2, ..., T.$$

Як приклад результати розрахунків за приведеною економіко-математичною моделлю представлено у табл. 1 і 2.

Таблиця 1 - Вибір варіантів реконструкції шахти

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Показники по варіантах	
		1	2
1	2	3	4
1. Потужність шахти по рядовому вугіллю 1.1 До реконструкції 1.2 Після реконструкції	тис. т/рік	 850 1000	 850 1500
2. Коефіцієнт виходу готової вугільної продукції	___	0,68	0,75
3. Розрахунковий період	рік	15	15
4. Видобуток рядового вугілля за проектом 4.1 1-3 роки 4.2 4-6 роки 4.3 7-10 роки	тис. т/рік	 700 750 800	 800 1200 1500
5. Намічені заходи щодо проекту і їх вартість 5.1 Проведення гірничих вироблень 5.1.1 1-3 роки 5.1.2 4-6 роки	млн. грн	 40 20	 130 120
5.2 Будівельні роботи 1-2 рік 5.2.1 3-5 роки	млн. грн	8 4	40 40
5.3 Придбання устаткування 5.3.1 3 рік 5.3.2 5 рік	млн. грн	 20 20	 70 80
6. Собівартість 1 т готової вугільної продукції до реконструкції 6.1 у тому числі постійна частина	грн %	185 45	185 45
7 Річна норма амортизації по основних фондам, що знов вводяться	%	8,5	7,0

Таблиця 2 - Вибір варіантів реконструкції шахти

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Показники по варіантах	
		1	2
1	2	3	4
1. Потужність шахти по рядовому вугіллю 1.1 До реконструкції 1.2 Після реконструкції	тис. т/рік	 600 650	 600 1000
2. Коефіцієнт виходу готової вугільної продукції	___	0,68	0,75
3. Розрахунковий період	рік	10	10
4. Видобуток рядового вугілля за проектом 4.1 1-3 роки 4.2 4-6 роки 4.3 7-10 роки	тис. т/рік	 500 550 600	 500 750 1000
5. Намічені заходи щодо проекту і їх вартість 5.1 Проведення гірничих вироблень 5.1.1 1-2 роки 5.1.2 3-4 роки	млн. грн	 10,2 5,8	 10,2 125,6
5.2 Будівельні роботи 1-2 рік 5.2.1 3-5 роки	млн. грн	6,5 -	15,3 15,3
5.3 Придбання устаткування 5.3.1 2 рік 5.3.2 4-5 рік	млн. грн	 20,5 -	 12,3 80,6
6. Собівартість 1 т готової вугільної продукції до реконструкції 6.1 у тому числі постійна частина	грн %	185 45	185 45
7. Річна норма амортизації по основних фондам, що знов вводяться	%	8,5	7,0

Аналіз результатів які наведено у табл. 1 і 2 дозволив встановити наступне.

Для підприємств гірничої галузі з переважанням пасивних основних фондів, до числа яких відносяться і вугільні шахти, великий вплив на економічну ефективність проектних варіантів надають капітальні вкладення. Вони діють в двох напрямах: збільшують амортизаційні відрахування, а, отже, і собівартість видобутку вугілля і грають роль обмежень, оскільки їх ресурси, як правило, недостатні. Тому вибір найефективнішого варіанту доцільно проводити по двох критеріях (моделях): величині зниження (зміни) собівартості за розрахунковий період і терміну окупності капітальних вкладень за рахунок економії в собівартості видобутку вугілля.

Таким чином, якщо за варіантом розвитку шахти собівартість видобутку вугілля зростає, то термін окупності буде негативним, і питання про ухвалення або неприйняття варіанту розв'язується інакше. З варіантів, коли собівартість знижується, найбільш ефективний той, у якого термін окупності мінімальний. Якщо ж цей термін перевищує середній за галуззю, то питання розв'язується по інших міркуваннях, наприклад, з урахуванням дефіцитності вугілля даної марки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Економічні та соціальні напрями комплексної реструктуризації промисловості України: Наук. доповідь / Редкол.: Мартякова О.В., Амоша О.І., Баранов С.В., Булеєв І.П. та ін. – Донецьк: ІЕП НАН України, 1998. – 144 с.

2. Булат А.Ф. О фундаментальных проблемах разработки угольных месторождений Украины //Уголь Украины. – 1997. – №1. – С. 14–17.

3. Залознова Ю.С., Дзюба С.В. Вплив природних та індустріальних чинників на основні фонди підприємств гірничо-металлургійної галузі// Економічний вісник Національного гірничого університету. – 2005. – № 1. – С. 52-59.

4. Ермольев О.М., Ляшко И.И., Михалевич В.С., Тюптя В.И. Математические методы исследования операций. –К.: Вища школа, 1979. –312 с.

5. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. –М.: Прогресс, 1975. – 606 с.

6. Кремер Н.И., Путко В.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике. –М.: Банки и биржа, ЮНИТИ, 1997. – 407 с.

УДК 626.823

Канд. техн. наук С.П. Мусиенко
(ИГТМ НАН Украины)

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ОХРАННЫХ СИСТЕМ

Наведені особливості розробки і застосування спеціальних технологій підвищення взаємодії з гірським масивом високонавантажених комбінованих охоронних систем.

APPLICATION OF SPECIAL WAYS OF CONSTRUCTION AT ERECTION HIGHLY OF LOADED COMBINED SECURITY SYSTEMS

The features of development and application of special technologies of increase of interaction with a mountain file of the loaded combined security systems are given

Применение монолитного бетона при определенных условиях рекомендуется в горном деле и подземном строительстве как особо рациональный и экономичный способ строительных и строительно-ремонтных работ. Наряду с широко применяемыми методами укладки готового бетона за опалубку, находят применение методы тампонажа и набрызгбетонирования.

Целесообразность применения монолитного бетона, в том числе, тампонажа и набрызгбетонирования, можно рассмотреть на примере их применения при креплении горных выработок. Крепи горных выработок можно разделить на